

综合产品环境审计工具: 生命周期清单分析*

王寿兵¹, 胡聃², 杨建新² (1. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100080)

提要: 生命周期清单分析是 ISO 14000 环境管理系列标准内容之一, 是定量评价产品生命周期全过程(从原材料采掘到最终处理)环境负荷的重要工具, 也是实施产品全过程环境管理的重要审计工具. 系统地论述了生命周期清单分析的实施步骤、方法和相关的概念.

关键词: 生命周期清单分析, 环境审计, 环境负荷.

中图分类号: X38 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)03-0027-04

A Comprehensive Environmental Auditing Tool of Products: Life Cycle Inventory*

Wang Shoubing¹, Hu Dan², Yang Jianxin² (1. Department of Environmental and Resource Biology, Fudan University, Shanghai 200433, China; 2. Department of System Ecology, RCEES, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract As an important standard of ISO 14000 series standard for environmental management, Life cycle inventory is a tool that quantifies and analyses the environmental loads during the whole life cycle of products (from raw extraction to the final disposal). It is also an important auditing tool for implementing whole process environmental management of products. The paper discusses the skills, phases and related concepts for implementing life cycle inventory.

Keywords: life cycle inventory, environmental audits, environmental loads.

生命周期清单分析(life cycle inventory, LCI)既是生命周期评价(life cycle assessment, LCA)中环境影响评价的基础, 也可直接指导实践应用^[1]. 生命周期清单分析是对给定产品系统整个生命周期中的输入和输出进行汇编和量化评价的过程. 产品生命周期是指一个产品系统中前后承接的一系列阶段, 从原材料的获取, 直至产品的最终处置整个过程. 一般包括原材料采掘、原材料加工、产品制造、产品使用或消费、产品最终处置(如回收利用、焚烧、填埋等)等5个主要的阶段. 另外, LCI还是实施清洁生产 and 污染预防的重要审计工具, 是真正实现产品全过程环境管理的重要支持工具之一. 目前, 国内有关 LCA 的介绍多为概括性的^[1-8]. 本文首先对如何开展 LCI 作系统的论述.

1 实施步骤与方法

1.1 目标定义

目标定义就是要确定开展此项研究的原因、预期

的应用, 以及服务对象(即研究结果的接受方).

从已有的研究看, 进行生命周期清单分析的目的有:

(1) 与竞争对手比较, 看谁家的产品更具有环境优势. 如果自己的产品有环境优势, 就可利用这个研究结果进行市场宣传, 使自己的产品更具竞争力.

(2) 通过分析研究, 看看自己的产品长处在哪里, 短处在哪里. 这样就可找到改进产品的机会, 也可为未来新产品的设计提供理论依据.

(3) 政府部门可能对某类产品进行研究, 找到该类产品对环境影响最大或较大的一些阶段, 然后在制定该产品的生态标志标准或有关的环境政策或法规

* 国家自然科学基金资助项目(Project Supported by the National Natural Science Foundation of China), 编号: 7977008 和欧盟(ERBIC18CT960095)资助项目
作者简介: 王寿兵(1970~), 男, 四川富顺人, 博士生, 主攻产业生态学.
收稿日期: 1999-07-28

时,把重点放在这些影响较严重的阶段.

1.2 确定系统边界

在清单分析中,所有产品都需要作为一个系统来描述,这个系统就是产品生命周期系统.产品生命周期所有过程都落入系统的边界内,边界外就是系统环境(见图1).

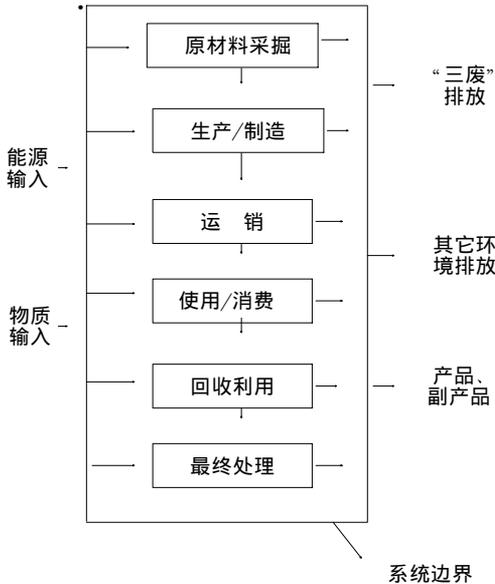


图1 产品生命周期系统及边界

系统边界的划分要考虑空间边界、生命周期边界、技术圈边界、生物圈边界等.由于该过程有一定的主观性,所以必须保证该过程和所采用的假设条件的透明性,必须说明选择输入和输出数据的准则.另外,对生命周期阶段、工艺过程或数据要求方面的任何省略,都必须予以清楚的陈述和说明理由.总之,设定系统边界的最高准则是不降低研究结果的可信度,同时又能达到预定的研究目标.

1.3 定义原始数据质量要求

- (1) 时间跨度 为满足研究目标必须收集哪一时段的数据.
- (2) 空间范围 为满足研究目标必须收集哪一地理区域的数据.
- (3) 技术水平 即所获数据是什么技术条件下的数据.如是平均技术水平、最佳可得技术、最佳实用技术还是最低技术水平.
- (4) 精度 每类数据的变异性,如方差.
- (5) 完整性 所获得的原始数据占有所有潜在数据的比例.
- (6) 代表性 数据在多大程度上反映了研究系统

的真实性.

1.4 确定产品系统功能单位

功能单位(functional unit)是量度产品系统输出功能时采用的单位.可以是一定数量的产品或某种服务.前者如一辆轿车、一台彩电、一只饮料瓶等,后者如货物运输的 $1\text{ km}\cdot\text{t}$ 、盛装饮料的 1 L 等.最后得到的所有数据都必须以功能单位为标准来提供,如轿车生命周期废气排放数据应为多少 $\text{CO}_2/\text{轿车}(\text{t}/\text{辆})$ 、 $\text{NO}_x/\text{轿车}(\text{t}/\text{辆})$ 等.不同的产品系统进行比较时,必须采用相同的功能单位,才会有可比性.

1.5 确定数据分配程序(allocation procedure)和方法

在实际生产中,常常会遇到一个单元过程同时生产2种或多种产品,而投入的原材料和/或能源又没有分开的情况.也可能会遇到投入有多种,而输出只有一种的情况,如废水处理车间.在这些情况下,不能直接得到清单分析所需数据,必须根据一定的关系对这些过程的数据进行分配.

目前,处理数据分配问题一般要求按以下程序进行:

- (1) 应想办法避免或减少出现分配
 - ① 将原来收集数据时划分的单元过程再进一步分解,以便将那些与产品系统无关的工艺单元或输入输出排除在外.
 - ② 扩展产品系统边界,把原来排除在产品系统之外的一些过程或输入、输出包括进来.
- (2) 不得不进行分配时,使用能反映其物理关系的方式来进行分配 即必须反映系统中产品和功能数量变化而引起的输入和输出变化.物理关系如产品的重量、数量、能源含量、体积、摩尔数等.
- (3) 当物理关系不能确定或不能用作分配依据时,可用其经济关系来进行分配,如产品产值、利润比例关系等.

(4) 确无其他办法,可人为确定一个分配系数,分配系数可从 $0\% \sim 100\%$. $50\%/50\%$ 的分配方法常被用于简化的生命周期清单分析,因为这种方法基本能保证关键信息不丢失.这种方法可用于初级产品生产、废物管理和循环过程所产生的环境负荷的分配.

数据分配方式确定以后,才能保证以后收集的数据能满足分配的需要,所以在数据收集正式开始之前,就需要定义分配程序或方法.

1.6 制作生命周期过程树

过程树以产品生命周期阶段为主干,在产品的制造阶段再展开第二层次,也可再往下分解,直到所有输入、输出都是基本流(见图2).

过程树的描绘有助于清单分析准确、顺利、全面地

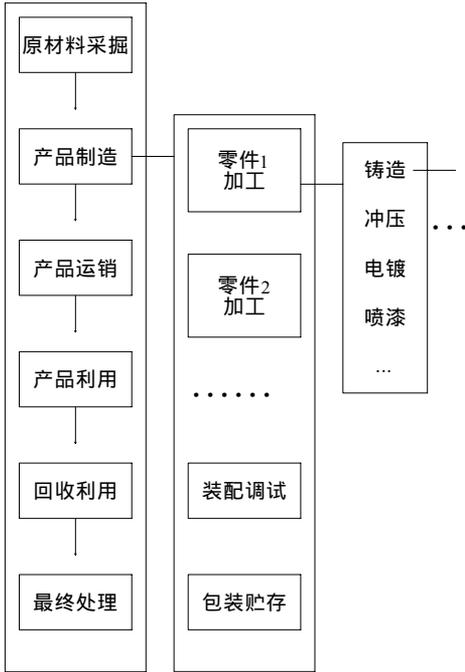


图 2 产品生命周期过程树

完成。在制作过程树的过程中,可基本阐明该产品整个生命周期中可能出现的污染物种类和资源消耗种类,同时根据行业特点及研究目标对需要考察的污染因子进行取舍。

1.7 数据收集

(1) 产品生产/制造数据 产品生产或制造数据的收集是生命周期清单分析中难度最大的部分。对于复杂的产品,如轿车、飞机、轮船等,其制造数据的获得难度极大,数据收集方法与一般的简单产品差别较大,需要作专门论述(另文发表),此处仅对一般性产品制造数据的收集方法作介绍。

一般借助于企业的生产流程图,将产品整个生产过程划分为若干个便于数据收集的单元过程(unit process)。一个单元过程可包含一个或多个工艺过程,具体大小可根据数据收集的方便性来决定。这些单元过程通过中间品和/或废物处理设施相互联系在一起,共同构成一个亚系统;通过产品流与其它亚系统相连。

通过基本流与自然环境直接相连,这样,进入每一个单元过程的基本流就是矿石、煤、原油、沙子、风能、太阳能等自然资源,离开每一个单元的就是三废排放、射线和噪声等基本流了,而中间品则是基础材料或零部件等(见图 3)。单元过程确定下来以后,便可对每个单元过程输入、输出的各种物料、能源和环境排放数据进行收集(数据来源于企业的年度统计、报表、环境监

测报告、物料供应定额等)、计算(如进行数据分配等),然后再按功能单位进行换算即可获得该单元过程的清单数据。最后将所有单元过程的清单数据进行分类汇总即可得到该产品生产阶段的清单数据。

(2) 原材料采掘与生产 产品制造所用原材料一般通过市场直接购得,其环境性能由社会生产的总体水平决定,因此,这些原材料数据不能由某个生产企业提供,而应以社会生产的平均水平作为清单分析的数据来源。燃料和电力的情况与此类似。我国的行业主管部门与环境管理机构对各行业的污染水平有相当的了解,所希望得到的统计数据可从中获得。但这些数据并未以 LCI 所需要的形式给出,因此还要进行计算处理。一般地,处理方法有 3 种:产值污染系数法、产量污染系数法和行业污染系数法。

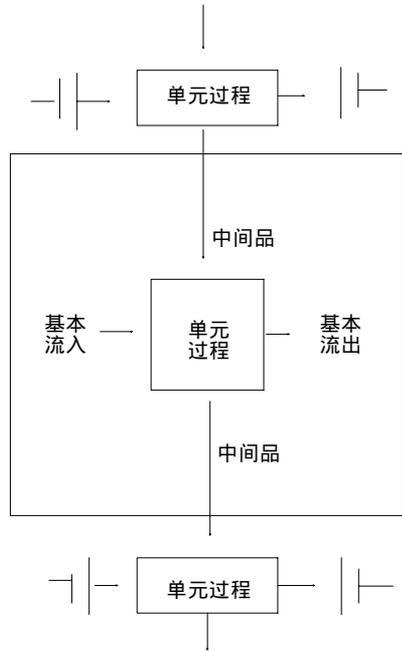


图 3 产品制造亚系统单元过程

产值污染系数法:即利用材料所属行业的总产值和相应的总排污数据得到典型污染物的产值排污系数(如万元产值排废水量),再根据企业单位产品所消耗的原材料成本进行单位产品的原材料加工生产阶段的污染计算。这是一种简而易而粗糙的计算办法,统计资料均从全国典型企业的典型工矿下获得,能够体现社会生产的平均水平。

产量污染系数法:产量污染系数法是利用行业产量统计值和污染统计值计算出产量污染系数(污染物排放量/单位产量)。该法不受市场价格差别和波动的影响,较容易实施。

行业污染系数法: 各行业部门的典型排放数据是根据该行业的技术特点和总的技术现状而提出的, 可以代表全行业实际的污染排放水平, 这些数据比较规范, 避免了不同行业、产品间的模糊对比, 具有较好的确定性。行业排放的典型污染数据较易得到, 可有较好的连续性。同样的, 根据材料的资源消耗系数(资源、能源), 也可以获得产品的资源消耗清单。这一系数一般均可从行业生产中获得。

(3) 产品运销数据 对运销过程无特别污染危害的产品, 其运销清单数据的获得可首先从企业销售部门或通过调查获得一些相关数据, 如运输工具、燃料消耗、水消耗、平均运输距离、装载率等。再根据实测或相关的文献(如参考文献[9])可得到各运输工具的排放系数, 这样根据前面收集的数据和定义的功能单位, 即可计算得到有关的环境排放清单数据。对运销过程有特别污染的产品, 如恶臭、易挥发、易渗漏等, 则必须加以特别的考虑。

(4) 产品使用阶段数据 产品使用的清单数据一般通过产品设计资料、国家规定的产品报废标准以及社会调查、实际检测等渠道获得。以汽车为例, 可从上述渠道得知这样一些相关的数据: 如主要用途(载人或载物)、报废年限、实际使用年限、报废里程、实际运行里程、出厂时百公里油耗、运营时百公里实际油耗、出厂时尾气排放浓度、运营时尾气排放浓度、寿命期内物质消耗情况(如洗涤用水、轮胎、机油、制动液、以及更换、维修的零件消耗等)等。根据这些数据, 通过一定的计算, 就可以初步得知一辆汽车在使用期间的清单数据。

(5) 产品报废后数据收集 产品报废后数据主要通过社会调查来获得。目前, 对报废产品的处置方式一般有填埋、焚烧、回收利用 3 种。有的报废产品只有一种处置方式, 有的却可能同时有其中的 2 种或 3 种处置方式。对报废产品的调查主要应涉及以下数据:

焚烧: 焚烧量、焚烧环境排放量(废气、灰渣、废水等)、回收热量。回收的热量表达为负值, 表明该产品生命周期总耗能的减少。

填埋: 填埋量、填埋占地、填埋后环境排放(包括废气如 CH_4 、 CO_2 等; 废水如滤液、重金属、富营养化因子等)。

回收利用: 用途、利用量。不论回收后作何用途(如作为其它产品的原材料, 如轿车车身回炉后用来生产建筑用钢材; 或进一步发挥它的功能, 如城里报废的彩电又被农民使用), 都应知道因回收利用这些报废产品

而增加而减少的原材料、能源消耗和环境排放数据, 如果是减少, 则在清单分析中作为负值, 反之则为正值。

到此为止, 即可初步获得产品的原材料采掘与生产、产品制造、运销、产品使用及其废置的整个生命周期过程的资源消耗与环境排放数据。

1.8 进一步完善系统边界

对汇总的初步结果进行敏感性分析, 可确定各数据的重要性。这样就可能修正最初定义的系统边界, 如可能排除一些不重要的生命周期阶段或亚系统。也可能排除一些对研究结果不重要的物质流、或能量流, 也可能重新包含一些新的有重要意义的单元过程。生命周期分析是一个反复的过程, 要直到满足预定的目标为止。

2 小结

生命周期清单分析是迄今为止最为综合的产品环境审计工具, 是实施产品生命周期全过程环境管理的重要支持工具之一。下一步的工作重点应放在: ① 迅速开展案例研究, 积累数据(数据库)和经验, 以便进一步运用; ② 大力开展方法论研究, 尤其是开展复杂产品(如轿车)生命周期清单分析的方法研究。

参考文献

- 1 International Organization for Standardization. Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework (ISO 14040). 1997.
- 2 席德立, 彭小燕. LCA 中清单分析数据的获得. 环境科学, 1997, 8(5): 84~87.
- 3 王寿兵, 胡聃, 吴千红. 生命周期评价方法及其应用. 中国环境科学(学报), 1999, 19(1): 77~80.
- 4 王寿兵, 杨建新, 胡聃. 生命周期评价方法及其进展. 上海环境科学, 1998, 17(11): 7~10.
- 5 杨建新, 王如松. 生命周期评价的回顾与展望. 环境科学进展, 1998, 6(2): 21~28.
- 6 王寿兵, 杨建新, 胡聃. 生态标志和产品的生命周期评价. 上海环境科学, 1999, 18(1): 10~12.
- 7 刘忠文. ISO 14040 生命周期评价概述. 环境导报, 1998, (1): 32~33.
- 8 胡敏, 卫振林, 徐一飞. LCA——一种新型的环境影响评价方法. 环境导报, 1997, (4): 23~25.
- 9 贺克斌, 郝吉明, 傅立新等. 我国汽车排气污染现状发展. 环境科学, 1996, 17(4): 80~83.